

La altura del salto en contramovimiento como instrumento de control de la fatiga neuromuscular. Revisión sistemática

Counter-movement Jump height as a means to monitor neuromuscular fatigue. Systematic Review

Sergio Miras Moreno
Universidad de Granada (España)

Resumen: Las múltiples ventajas que aporta un buen control de la carga y la fatiga tanto en deportes de equipo como individuales son conocidas, aunque es importante determinar si un mismo método de control puede ser utilizado para cualquier tipo de deporte, ya que cada uno posee unas demandas metabólicas y neuromusculares diferentes. El objetivo de esta revisión fue recopilar conocimiento acerca de la fiabilidad de la altura del salto en contramovimiento (CMJ, por sus siglas en inglés) como instrumento de control de la carga y la fatiga neuromuscular en atletas de diferentes deportes. El objetivo complementario fue relacionar el CMJ con otras variables metabólicas sensibles a la fatiga neuromuscular. Dos bases de datos (*PubMed* y *WebOfScience*) fueron utilizadas para la búsqueda de un total de 1051 artículos científicos. La calidad metodológica para cada artículo se llevó a cabo mediante la escala de la base de datos sobre Fisioterapia Basada en la Evidencia (PEDro). Un total de 12 artículos siguieron los criterios de inclusión y exclusión. Se encontraron numerosas correlaciones con otras variables metabólicas como el nivel de cortisol en saliva, el amonio y lactato en sangre. La altura del CMJ es una herramienta fiable para medir tanto como la fatiga neuromuscular a lo largo de una temporada como para medir la fatiga aguda después de una sesión de entrenamiento, no obstante, es recomendable establecer un protocolo adecuado de medición y que se relacione con otros instrumentos o parámetros metabólicos para aumentar su fiabilidad dentro de los distintos deportes.

Palabras clave: salto vertical, monitorización, carga del entrenamiento, plataforma de salto, rendimiento.

Abstract: The many advantages of good load and fatigue control in team and individual sports are known, although it is important to determine if the same control method can be used for any type of sport, for each one has different metabolic and neuromuscular demands. To analyze the reliability of counter-movement jump height (CMJ) as an instrument for load and neuromuscular fatigue control in athletes of different sports. The secondary aim was to relate vertical jump height (VJH) with other metabolic variables sensitive to neuromuscular fatigue. Two databases (*PubMed* and *Web Of Science*) were used to search a total of 1051 scientific journals. The methodological quality for each article was carried out using the scale of the database on Evidence-Based Physiotherapy (PEDro). A total of 12 papers matched the inclusion criteria. Numerous correlations were found with other metabolic variables such as the level of cortisol in saliva, ammonium and lactate in the blood. The height of the CMJ is a reliable tool to measure neuromuscular fatigue over a season and acute fatigue after a training session; however, it is advisable to establish an adequate measurement protocol and compare it with other instruments to increase their reliability within different sports.

Key words: vertical jump, monitoring, training load, contact platform, performance.

Introducción

La mayoría de los investigadores y entrenadores de diferentes ámbitos deportivos debaten sobre qué tipo de entrenamiento es el más efectivo dependiendo del ámbito deportivo, pero donde sí llegan a un acuerdo es acerca de la importancia de la planificación de la carga y la fatiga durante una temporada deportiva para así producir adaptaciones musculares y reducir el riesgo de lesión por sobreentrenamiento (Gabbet & Jenkins, 2011; Soligard, Schwelunus, & Alonso, 2016).

Un gran número de atletas completan una alta carga de entrenamiento esperando mejorar en el rendimiento. No obstante, no siempre está ligado a una mejora. Excesivo entrenamiento, recuperaciones incompletas y un alto estrés general puede manifestarse en forma de sobreentrenamiento, produciendo un descenso de rendimiento a consecuencia de la fatiga. Algunas veces, esta sobrecarga se puede incluir en la planificación, en el que, seguido de un periodo de recuperación, se puede inducir a una supercompensación, aumentando el rendimiento (Kuipers & Keizer, 1988). Sin embargo, el conocimiento sobre la definición de la fatiga ha ido evolucionando, desde una disminución involuntaria de la fuerza

después del entrenamiento (Enoka & Stuart, 1992), hasta incluir otros aspectos ligados a la fatiga como la velocidad de acortamiento muscular (Allen, 1995). Una de las consideraciones actuales matiza que la fatiga origina una reducción de la fuerza y velocidad aplicada durante el acortamiento muscular cuando se aplica una carga de entrenamiento (Allen, Lannergren, & Westerblad, 1995, 2008). Este hecho es importante, ya que «la pérdida de velocidad es un indicador de alta validez para estimar la fatiga» (González Badillo, Sánchez Medina, Parejo Blanco & Rodríguez Rosell, 2017, p.52).

Para que la altura del CMJ sea un instrumento de monitorización del entrenamiento efectivo, tiene que reunir tres criterios imprescindibles: tener validez, ser de confianza y suficientemente sensible a posibles cambios que puedan modificar el rendimiento (Reilly, Morris, & Whyte, 2009). La validez está influenciada por el patrón de movimiento a realizar (Mcmaister, Gill, Cronin, & Mcguigan, 2014), en este tipo de salto estaríamos ante una prueba isoinercial, ya que estamos desplazando una carga (nuestro propio peso cuando saltamos) y gravitacionalmente constante (en una misma inercia) (Murphy & Wilson, 1997). Estas características hacen que sea una de las formas más válidas para monitorizar la fatiga neuromuscular (Meylan, Cronin, & Nosaka, 2008).

Las plataformas de saltos, uno de los instrumentos más utilizados y validados para medir el CMJ, utiliza esta característica del movimiento isoinercial para calcular la altura sin necesidad de saber la velocidad de salida $h = t^2 \cdot g/8$, donde

h es altura, t es tiempo y g es gravedad (Pueo et al., 2018). Además, hay algunas empresas que consiguen obtener un coeficiente de variación (CV) muy bajo 0,01%, por lo que el margen de error resulta muy reducido (Pueo et al., 2018). Algunas aplicaciones móviles son capaces de medir la altura del salto vertical a través de la cámara lenta, pero con un CV un poco más elevado CV=3,6% (Balsalobre-Fernández, Glaister & Lockey, 2015). En definitiva, medir la altura del salto vertical constituye un método sencillo y barato (Balsalobre-Fernández et al., 2015).

Los saltos verticales más comunes para testear la función neuromuscular son Countermovement Jump (CMJ), Squat Jump (SJ) y Drop Jump (DJ) (Twist & Highton, 2013). No obstante, la sensibilidad de fatiga neuromuscular para estos tipos de saltos es incierta, con resultados contradictorios (Gathercole, Sporer, Stellingwerff, & Sleivert, 2015). Por ejemplo, en un estudio se comparó cómo iba evolucionando la fatiga neuromuscular en el CMJ, SJ y DJ en 11 atletas universitarios en las primeras 24 h, 48 h 122y 72 h post ejercicio, donde se estableció que las del CMJ y DJ eran los saltos más sensibles a la fatiga ya que se seguían manifestando hasta incluso en las 72 h post-ejercicio (Gathercole et al., 2015). Otro estudio estableció que para velocistas la altura del CMJ es uno de los saltos más útiles para cuantificar el nivel de carga de entrenamiento y la fatiga, además de establecerse altas correlaciones con el nivel de lactato ($R^2=0,96$) y el nivel de amonio en sangre ($R^2=0,95$), aportando datos que normalmente se obtienen realizando técnicas invasivas (Jiménez-Reyes et al., 2016). Otros establecen que el CMJ no es una medida sensible para establecer la fatiga en jugadores de vóleybol, donde se ha ido aumentando gradualmente la carga de entrenamiento (Freitas, Nakamura, Miloski, Samulski, & Bara-Filho, 2014). Para jugadores de balonmano el CMJ tampoco se vio como una medida sensible a pesar de que la intensidad era alta, con unos valores en lactato entre 7-9 mmol/L (Póvoas et al., 2014).

Desde mi conocimiento, ninguna revisión sistemática acerca de los usos del CMJ se ha realizado para deportistas semi-profesionales ó profesionales de diferentes deportes. No obstante, en algunos artículos se ha observado que la sensibilidad del CMJ no ha sido la suficiente, por lo que se debatirá cuáles pueden ser las posibles razones para que el CMJ no se vea afectado. Otra hipótesis a debatir es si los artículos donde no se ha visto un descenso del CMJ a consecuencia de una alta carga del entrenamiento, se haya realizado a la intensidad pertinente para que se produzca un cambio significativo en la homeostasis del organismo, es decir, si afecta a la sensibilidad de detectar la carga de entrenamiento y fatiga. Algunos estudios señalan que para que el CMJ sea sensible es necesario alcanzar $40-50 \mu\text{mol}'\gg\text{L}^{-1}$ de amonio en sangre o dicho en otros parámetros $8-12 \text{ mmol}'\gg\text{L}^{-1}$ de lactato en sangre (Gorostiaga et al., 2010; Romero-Franco & Jiménez-Reyes, 2016). Tanto uno como otro, son indicadores de intensidad de alta fiabilidad, siendo solo necesario saber uno de esos parámetros para saber si estamos a la intensidad adecuada para que el VJH sea sensible, ya ambos tienen una alta correlación entre ellos mismos ($R^2=0,96$) (Gorostiaga et al., 2010; Ro-

mero-Franco et al., 2016).

El objetivo de este estudio fue recopilar conocimiento sobre la sensibilidad del CMJ en distintos ámbitos deportivos y establecer una relación con otros parámetros físicos y fisiológicos que ayude a ofrecer más información acerca del control de la fatiga, además de ofrecer más conocimiento acerca del CMJ como instrumento eficaz para entrenadores, válido y de un costo no elevado frente a los métodos invasivos de un alto precio.

Metodología

Estrategias de búsqueda

Una amplia búsqueda se ha realizado a través del uso de dos bases de datos (Pubmed y WebOfScience) para investigar acerca del uso del VJH como instrumento de control de la fatiga neuromuscular y su uso en las plataformas de saltos. El manual de búsqueda fue confeccionado utilizando las siguientes palabras clave: *vertical jump AND control, vertical jump AND monitoring, vertical jump AND training load, vertical jump AND control AND systematic review, vertical jump AND training load AND systematic review, jump performance AND control, jump performance AND monitoring, jump performance AND training load, contact mat AND control, contact mat AND monitoring, contact mat AND jump, jump mat, jump platform, contact platform*. Las referencias dentro de los artículos científicos también fueron escaneadas, con el objetivo de contar con una amplia muestra de información. La base de datos fue limitada a artículos en inglés entre 2005 y 2019, aunque hay algunas referencias relevantes que pertenecen a otro rango de años.

La búsqueda electrónica de artículos, identificación, escaneo y su posterior extracción ha sido realizada por un solo revisor (SM). Ante posibles dudas de extracción de artículos, se estableció escoger todos aquellos artículos que tuviera como dato el VJH a pesar de que el objetivo principal del artículo quizás no era el de controlar la fatiga neuromuscular. Este hecho ayudó a contar con un gran número de datos en el que, en algunos casos se podía intuir las causas que llevaron a un descenso del VJH. En este caso, siempre era de gran ayuda la obtención de parámetros metabólicos como la concentración de lactato o amonio en

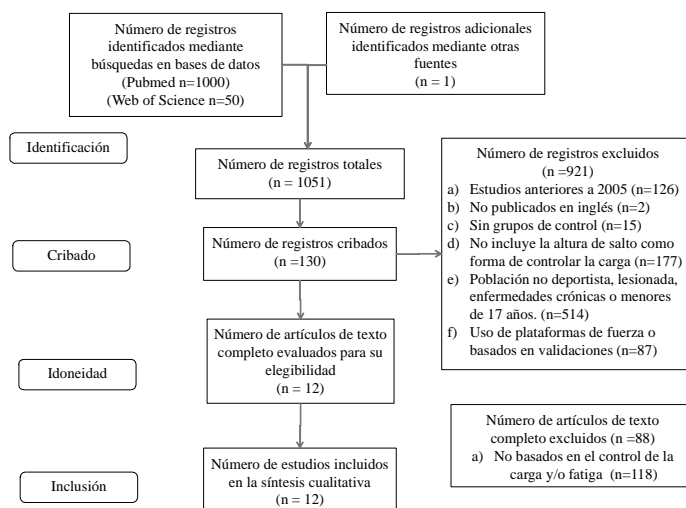


Figura 1.. Diagrama de flujo basado en los criterios PRISMA (Moher et al., 2009)

sangre.

La revisión sistemática fue realizada mediante un diagrama de flujo que sigue los criterios de *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)* (Moher, Liberati, Tetzlaff, & Altman, 2009) (figura 1).

Criterios de exclusión

Tipo de estudio

Esta revisión sistemática incluye estudios experimentales controlados aleatorios y no aleatorios, escritos en inglés y publicados a partir del 2005.

Tipo de participantes

Los participantes incluidos en el estudio fueron hombres y/o mujeres, deportistas, saludables, de nivel universitario y/o élite, sin ningún tipo de patología crónica anterior, y con un rango de edad entre 17 y 40 años.

Tipo de intervenciones

Para ser incluido dentro de la síntesis cualitativa, cualquier tipo de entrenamiento es válido pero tiene que tener un grupo de control. Los grupos de control pueden participar en cualquier tipo de actividad deportiva orientada al control de la fatiga o mejora del rendimiento.

Tipo de medida de resultado

Los artículos incluidos deben tener como mínimo la medida de la altura del salto vertical como variable a investigar, en concreto del Countermovement Jump (CMJ).

Criterios de inclusión

Los criterios de exclusión han sido los siguientes: (A) estudios redactados en inglés, (B) estudios con grupos de control, (C) del año 2005 o posterior, (D) con cuantificación de la carga y fatiga, (E) población deportista sin ningún tipo de lesión o enfermedad crónica, (F) 17 años o más y (G) con uso plataformas de fuerzas.

Evaluación de calidad

La escala para evaluar la metodología llevada a cabo por los estudios siguió los criterios de Base de Datos de Fisioterapia Basada en la Evidencia (PEDro). La calidad de evaluación siguió la siguiente escala de 10 puntos: d» 3 puntos fueron considerados como una pobre calidad, 4-5 puntos como una calidad moderada y 6-10 puntos como una alta calidad (Maher et al., 2003). La escala PEDro consiste en 11 ítems en un rango de 0-10 puntos (Maher et al., 2003).

Resultados

Selección de artículos

Un total de 1051 artículos han sido identificados en las bases de datos y un artículo ha sido identificado a través del listado de referencias. Eliminando los artículos duplicados, la eliminación basada en el título y el resumen del resto de artículos, se ha identificado un total de 130 artículos después de la primera criba (Figura 1). Después, de una lectura de los artículos primeramente seleccionados, solo se seleccionó 12 artículos que fueron aquellos basados en el control de la carga, fatiga o tuvieron una relación directa con ella, es decir, parámetros metabólicos que tuvieron una correlación con el CMJ.

Calidad Metodológica

De manera general, los artículos incluidos en la revisión sistemática son de calidad moderada, concretamente, en la escala PEDro con una media de 5,83 (Tabla 1). Solo dos estudios fueron encontrados (Balsalobre-Fernández et al., 2014; Reader et al., 2016) con el criterio de la asignación oculta del atleta al grupo. Siete fueron los estudios que recibieron una calidad alta (Balsalobre-Fernández et al., 2014; Gathercole et al., 2015; Mohr et al., 2013; Peacock et al., 2018; Raeder et al., 2016), mientras que el resto fue de una calidad media.

Características de los artículos

Todos los artículos escogidos que estuvieron dentro del sistema de inclusión fueron publicados en inglés entre 2010 y 2018. El tamaño de la muestra fue 1051 artículos, donde sólo 12 siguieron los criterios de inclusión y exclusión. El rango de sujetos a describir fue de ocho a 23 sujetos. La duración de la intervención (Tabla 2) en los estudios fue desde 1 día hasta un máximo de 39 semanas, lo que correspondería en algunos casos a una temporada (Balsalobre-Fernández et al., 2014; Dobbin et al., 2017). Cuatro artículos investigaron las correlaciones del CMJ con otros parámetros metabólicos como el cortisol, lactato y amonio (Tabla 2). Tres expusieron las correlaciones con el tiempo de entrenamiento y RPE, relacionándolo con el rendimiento de la altura del CMJ. Por otro lado, otros tres estudios se basaron en como afectaban los programas de alta intensidad (donde la fatiga se estimaba que iba a ser alta) al rendimiento del salto, inmediatamente después de realizar la actividad (0 horas), al día siguiente (24 horas), dos días (48 horas) y por último tres días después (72 horas) (Tabla 3). Se estableció una correlación con factores que influyen directamente en la fatiga, como

Tabla 1. Evaluación de la calidad de los artículos incluidos (Maher et al., 2003)

Estudio	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Criterio 6	Criterio 7	Criterio 8	Criterio 9	Criterio 10	Criterio 11	Total
Arcos et al. (2014)	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	5
Balsalobre-Fernández et al. (2014)	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	6
Balsalobre-Fernández et al. (2014)	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	5
De Freitas Cruz et al. (2018)	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	5
Dobbin et al. (2017)	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	5
Gathercole et al. (2015)	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	5
Gorostiaga et al. (2010)	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	5
Jiménez-Reyes et al. (2016)	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	5
Mohr et al. (2013)	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Nakamura et al. (2016)	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	5
Peacock et al. (2018)	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Raeder et al. (2016)	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	6

Criterio 1 Los criterios de elección fueron especificados, Criterio 2 Los sujetos fueron asignados al azar a los grupos, Criterio 3 La asignación fue oculta, Criterio 4 Los grupos fueron similares al inicio en relación a los indicadores pronósticos más importantes, Criterio 5 Todos los sujetos fueron cegados, Criterio 6 Todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados, Criterio 7 Todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados, Criterio 8 Todos los evaluadores que midieron al menos uno de los resultados clave fueron obtenidas de más del 85% de los sujetos inicialmente asignados a grupos, Criterio 9 Se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para al menos un resultado clave fueron analizados por "intención de tratar", Criterio 10 Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave, Criterio 11 El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave.

puede ser las altas temperaturas, la deshidratación y el descanso previo a un entrenamiento (en este caso fue la latencia del sueño, que corresponde al tiempo que transcurre hasta que conseguimos conciliar el sueño).

Resultados del estudio

Control de la fatiga aguda a través de CMJ

El efecto del entrenamiento de media y alta intensidad en el CMJ provoca que la mayor pérdida de altura sea al terminar la actividad (post-0 h) con un leve descenso en el porcentaje del CMJ ($0,81 \pm 0,59$ para jugadores de fútbol, $(-1,1 \pm 1,2)$ para atletas de deportes de equipo y $(-10,2 \pm 4,5)$ para atletas de deportes de resistencia (Tabla 3). Contrastando con el período de recuperación de 72h, y el aumento del porcentaje del CMJ posiblemente debido a causa de la adaptación al entrenamiento ($0,91 \pm 0,76$ para jugadores de fútbol y $(0,7 \pm 1,5)$ para atletas de deportes de equipo (Tabla 3).

Correlaciones del CMJ con otras variables metabólicas.

Altas correlaciones inversas se establecieron entre CMJ-cortisol con un $r = -0,777$ y un $r = -0,688$ para atletas de media y larga distancia, tras un periodo de entrenamiento de 4 y 39 semanas (Tabla 2). Para corredores de 400 m, la relación CMJ-lactato obtuvo una correlación inversa elevada ($R^2 = 0,68$), mientras que para CMJ-amonio fue una correlación inversa moderada ($R^2 = 0,51$) para un período de 6 días con una intensidad muy elevada. Por último, los corredores de *sprint* obtuvieron también como los de 400 m, correlaciones con amonio ($R^2 = 0,96$) y lactato ($R^2 = 0,95$), sin embargo obtuvieron mayores correlaciones para estos.

Control de la fatiga y su correlación con el tiempo y RPE.

Tabla 2. Correlaciones del CMJ con otras variables metabólicas.

Estudio	POBLACIÓN			PROGRAMA		CORRELACIONES CON CMJ			
	Nivel	Edad (años)	Duración	Intensidad	Días/semana	Tipo sesión	Lactato en sangre	Amonio en sangre	Cortisol en saliva
Balsalobre-Fernández et al. (2014)	Atletas media y larga distancia	26,3±5,1	39 semanas	Media	1	Control fatiga post-competición			$r = -0,777$
Balsalobre-Fernández et al. (2014)	Atletas de media y larga distancia	27,6±5,1	4 semanas	Media	1	Control fatiga pre-competición			$r = -0,688$
Gorostiaga et al. (2010)	Corredores 400m	23,6±2,7	6 días	Muy Alta	6	Alta intensidad intermitente	$R^2 = 0,68$	$R^2 = 0,51$	
Jiménez-Reyes et al. (2016)	Corredores de sprint	23,1±4,4	1 día	Muy Alta	1	Entrenamiento de sprint	$R^2 = 0,96$	$R^2 = 0,95$	

CMJ: *Countermovement jump*

R²: variable que indica el % que es semejante un parámetro de otro. Valor máximo 1.

r: coeficiente de correlación. Valor mínimo -1 y máximo +1.

Tabla 3. Resultados del control fatiga aguda a través del CMJ.

Estudio	POBLACIÓN			PROGRAMA		RESULTADOS CMJ				
	Nivel	Edad (años)	Duración	Intensidad	Días/semana	Tipo sesión	Post-0 h (media %)	Post-24 h (media %)	Post-48 h (media %)	Post-72 h (media %)
Dobbin et al. (2017)	Sub-élite fútbol	23±3	24 semanas	Alta	1	Alta intensidad intermitente	$-0,81 \pm 0,59$	$-0,94 \pm 0,60$	$-0,67 \pm 0,80$	$0,91 \pm 0,76$
Gathercole et al. (2015)	Atletas en deportes equipo	23,8±3,9	1 semana	Alta	7	Alta intensidad	$-1,1 \pm 1,2$	$-0,5 \pm 1,0$		$0,7 \pm 1,5$
Raeder et al. (2016)	Atletas de resistencia	23,1±1,9	8 semanas	Alta	2 veces	Protocolos sentadillas	$-10,2 \pm 4,5$		$-5,9 \pm 4,1$	

CMJ: *countermovement jump*

Tabla 4. Resultados control de la fatiga y su correlación con tiempo de entrenamiento, RPE y rendimiento CMJ.

Estudio	POBLACIÓN			PROGRAMA		CORRELACIONES CON CMJ		CMJ
	Nivel	Edad (años)	Duración	Intensidad	Tipo sesión	Tiempo de entrenamiento	RPE	Rendimiento CMJ (%)
Arcos et al. (2014)	Élite fútbol	21,0±1,7	9 semanas	Media	Control fatiga competición	$r = -0,62$		
Balsalobre-Fernández et al. (2014)	Atletas media y larga distancia	26,3±5,1	39 semanas	Media	Control fatiga post-competición		$r = -0,426$	-1,61 %
Balsalobre-Fernández et al. (2014)	Atletas de media y larga distancia	27,6±5,1	4 semanas	Media	Control fatiga pre-competición		$r = -0,782$	-3,9 %
De Freitas Cruz et al. (2018)	Atletas baloncesto	17,2±0,4	9 semanas	Media-Alta	Control de la fatiga en temporada		$r = -0,28$	+14,18%
Nakamura et al. (2016)	Jugadores fútbol sala	19,1±0,8	9 semanas	Alta	Control de la fatiga pretemporada		$r = -0,15$	-4,83%

r: coeficiente de correlación. Valor mínimo -1 y máximo +1.

CMJ: *countermovement jump*

Tabla 5. Otras correlaciones del CMJ

Estudio	POBLACIÓN			PROGRAMA		CORRELACIONES CON CMJ	
	Nivel	Edad	Duración	Intensidad	Tipo sesión	Estrés altas temperaturas	Latencia del sueño
(Mohr et al., 2013)	fútbol elite	26,7±1,0	1 día	Muy Alta	Partido	$r = -0,60$	
(Peacock et al., 2019)	Atletas MMA	27,7±3,4	3 días	Alta	Entrenamiento		$r = -0,787$

Numerosas correlaciones inversas fueron formuladas CMJ-RPE: para atletas de media y larga distancia con ($r = -0,426$; $r = -0,782$), destacando que cuando su rendimiento fue menor (-3,9% con respecto al primer y último test) la correlación fue más elevada; para jugadores de baloncesto ($r = -0,28$) y para jugadores de fútbol sala ($r = -0,15$) (Tabla 4). Por último, se estableció solo una relación CMJ-tiempo de entrenamiento, donde se pudo ver que los días con mayor tiempo (min), se producía un descenso del CMJ ($r = -0,62$) (Tabla 4).

Otras correlaciones del CMJ.

Se establecieron correlaciones inversas con parámetros no usuales como es la fatiga ocasionada por las altas temperaturas (cambio homeostático que afecta al organismo) $r = -0,60$ y una alta correlación inversa con la latencia del sueño (cuánto tiempo se ha tardado en conciliar el sueño) $r = -0,787$ (Tabla 5).

Discusión

Los resultados de esta revisión sistemática no confirman la fiabilidad del CMJ para cualquier tipo de deporte como instrumento de control de la fatiga neuromuscular.

Es importante investigar por qué en algunos casos el CMJ no fue fiable, como es el caso de jugadores de vóleybol (Freitas et al., 2014) y de balonmano (Póvoas et al., 2014). En dicho estudio se llegaba a la conclusión que los jugadores de vóleybol tenían tan interiorizados este tipo de salto que, a pesar de tener fatiga, el CMJ no era sensible a este cambio (Freitas et al., 2014). Por otro lado, una revisión sistemática acerca de la pliometría en vóleybol femenino, destacaba que, tras períodos de entrenamientos pliométricos de baja intensidad, previene el descenso de la altura de algunos saltos

como el CMJ y SJ (Martínez-Rodríguez et al., 2017). Este contenido puede ser relevante, ya que este tipo de entrenamiento es habitual en este deporte. La profundidad es otra de las características que se suele tener en cuenta cuando utilizamos el salto vertical como medida, sin embargo, aumentos en la profundidad del CMJ, no modificó la altura del salto CMJ para jugadores de deportes de equipo (Sánchez-Sixto, López-Álvarez, & Floría, 2018). En otros deportes de combate como kick boxing japonés (Cimadoro, 2018) o karatekas (Nakamura et al., 2016), donde una batalla no fue suficiente para encontrar cambios en la altura del CMJ, aun sabiendo que en ambos casos la intensidad fue muy elevada, con valores de lactato que en algunos casos fueron superiores a $15,3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$. Para atletas profesionales de nivel olímpico en *Snowboard* la altura del CMJ y el pico de velocidad de salto aumentó después del entrenamiento (Gathercole et al., 2015). Estos resultados, contrastan con otros, donde otros autores señalaban que en un combate simulado de kick boxing, se producía un descenso de la altura del salto en el CMJ probablemente a causa de la fatiga, donde el RPE y la frecuencia cardiaca se mantuvo elevada (Ouergui et al., 2016).

Por estas razones, algunos autores remarcaban la necesidad de establecer un protocolo para aumentar la fiabilidad del CMJ, donde llegaron a la conclusión de que la forma de medir ideal es utilizar la media de seis alturas de CMJ, sin embargo, establecieron que el protocolo más rentable para jugadores de rugby profesionales, es utilizar la media de dos y tres tomas de alturas del CMJ, a modo de economizar tiempo (Kennedy & Drake, 2018). Otras de las consideraciones necesarias para incluir en el protocolo son las relacionadas con la variabilidad del patrón de salto del CMJ. En un estudio se estableció que a pesar de que las cargas de entrenamiento eran elevadas y tenían una fatiga neuromuscular, jugadoras de élite de baloncesto eran capaces de modificar en estas situaciones su patrón de movimiento (distintos grados de profundidad de salto) para alcanzar la altura deseada (Legg, Pyne, Semple, & Ball, 2017). El nivel de lactato en sangre afecta a la sensibilidad del CMJ relacionada con la intensidad del ejercicio, donde para atletas de élite de 400 m, se observó que por debajo de $8-12 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ no se obtenían cambios en la altura del CMJ (Gorostiaga et al., 2010).

Esta revisión revela que el CMJ es eficaz para controlar la fatiga aguda, la sensibilidad de la fatiga ha llegado hasta 48 horas post-ejercicio para jugadores de fútbol sub-élite, deportes de equipo y para atletas de resistencia (Tabla 4). A partir de las 48 horas, el rendimiento del salto va aumentando posiblemente a consecuencia de una adaptación del entrenamiento (Tabla 4). Algunos estudios, establecen que esta sensibilidad del CMJ, también está relacionada con el tipo de fibras musculares que posea el atleta y la potencia que en un primer momento sean capaces de generar. Aquellos que tienen más fuerza explosiva y realizan unos saltos con una altura muy elevada, son aquellos que en el post-ejercicio van a tener un porcentaje de disminución de altura mayor, es decir, son más sensibles a la fatiga neuromuscular (Gorostiaga et al., 2010). Este hecho, está relacionado con que aquellos atletas que tienen mayores porciones de fibras más rápidas son más sensibles a este tipo de fatiga (Gorostiaga et al., 2010). Esta información es de gran utilidad para dar mayores descansos a aquellos atletas que posean estas condiciones,

sobretudo en deportes de equipo donde la gestión del descanso en los partidos depende del entrenador.

Esta revisión también demostró que hay grandes relaciones con otros parámetros y su necesidad de corroborarlo para futuros estudios que servirán de gran ayuda para el uso complementario del CMJ como instrumento de medida de la fatiga neuromuscular. Se obtuvieron grandes correlaciones inversas con variables metabólicas en corredores profesionales como la cantidad de lactato en sangre $R^2= 0,68$ (Gorostiaga et al., 2010) y $R^2= 0,96$ (Jiménez-Reyes et al., 2016), con la cantidad de amonio en sangre $R^2= 0,51$ (Gorostiaga et al., 2010) y $R^2= 0,95$ (Jiménez-Reyes et al., 2016) y con la cantidad de cortisol en la saliva $r= -0,777$ (Balsalobre-Fernández et al., 2014) y $r= -0,688$ (Balsalobre-Fernández et al., 2014). También se encontró que existía una elevada correlación $R^2= 0,96$ entre la cantidad de lactato y amonio en sangre (Jiménez-Reyes et al., 2010).

Otra de las correlaciones inversas más representativas se tuvo con el rango de esfuerzo percibido (RPE, en sus siglas en inglés). Se observó que esta correlación inversa se mantuvo tanto en atletas de media y larga distancia $r= -0,426$ y $r= -0,782$ (Balsalobre-Fernández et al., 2014) como en deportes intermitentes como el baloncesto $r= -0,28$ (De Freitas Cruz et al., 2018) y fútbol sala $r= -0,15$ (Nakamura et al., 2016), aunque en el caso de los deportes intermitentes parece que la correlación es menor. También se encontraron correlaciones inversas con el tiempo de entrenamiento $r= -0,62$ (Arcos et al., 2014).

Por último, se encontraron correlaciones inversas con otros parámetros que afectan al rendimiento del atleta como el nivel de deshidratación en condiciones de estrés en altas temperaturas $r= -0,60$ (Mohr et al., 2013) y la latencia del sueño, es decir, el tiempo que se tarda una vez ya preparado para dormir en conciliar el sueño $r= -0,787$ (Peacock et al., 2019).

Otros parámetros de interés que se midieron fueron los efectos en la fatiga en la altura del CMJ que puede ocasionar la post activación potenciación (*Post-Activation-Potential*, en inglés y sus siglas (PAP)), donde se pudo ver que no origina ningún tipo de fatiga neuromuscular, sino que aumenta su rendimiento, siendo este uno de sus objetivos principales (Romero-Franco et al., 2016); otro estudio midió la fatiga ocasionada después de un programa de pliometría de alta intensidad en jugadores de fútbol sala, en este tipo de programa la altura de CMJ si descendió, por lo que es recomendable su adecuada programación (Yanci, Castillo, Iturricastillo, Ayarra, & Nakamura, 2017).

Algunas limitaciones de esta revisión sistemática deben ser resaltadas. El número limitado de artículos orientados principalmente al control de la fatiga neuromuscular y sus correlaciones fueron escasos, lo que resultó difícil establecer alguna conclusión definitiva. Es recomendable que en un futuro se investigue más acerca de la altura del CMJ como control de la fatiga, en vez de orientarlos a la mejora del rendimiento como consecuencia de una buena adaptación. Además, sería también sugerible, que dichos estudios fueron realizados exclusivamente con plataformas de saltos, debido a su bajo coste y su alta fiabilidad.

Por otro lado, la temática se puede extrapolar a cualquier deporte, esto ha hecho que resulte complicado aunar el re-

ducido conocimiento que hay al respecto, ya que no se encontró ninguna otra revisión sistemática hasta la fecha, y en algunas ocasiones resulta complejo comparar deportes con distintos requerimientos energéticos y con habilidades motrices diferentes. Es destacable que la altura del CMJ puede ser medida utilizando otros instrumentos, la razón principal por la que se escogió las plataformas de saltos es debido a su bajo coste y su alta fiabilidad, ofreciendo así de primera mano una herramienta muy útil para que los entrenadores puedan utilizar en un futuro.

Por último, es de vital importancia la investigación de nuevas correlaciones y la reafirmación de las ya señaladas en este artículo, para ofrecer de primera mano un instrumento de bajo coste que pueda compararse con otros parámetros que se suelen obtener con técnicas invasivas, para que su eficacia y fiabilidad aumente.

Conclusión

La presente revisión sistemática demostró la fiabilidad de la altura del CMJ como instrumento de control de la fatiga neuromuscular para jugadores profesionales y semi-profesionales en atletas de larga distancia, atletas de media distancia, atletas de 400 m, velocistas, sub-élite fútbol, atletas de deportes de equipo, atletas de resistencia, jugadores de baloncesto y jugadores de fútbol sala. Por otro lado, se encontraron correlaciones inversas con otros parámetros metabólicos como el nivel de lactato y amonio en sangre, el tiempo de entrenamiento, el RPE (rango de esfuerzo percibido), la deshidratación en altas temperaturas y el tiempo de latencia del sueño en algunos de estos deportes.

Sin embargo, hay en algunos deportes como vóleybol y algunos deportes de lucha como kick boxing, en los que tras un período de alta intensidad no se demuestra este hecho.

Para concluir, la altura del CMJ parece ser una herramienta fiable para medir tanto como la fatiga neuromuscular a lo largo de una temporada como para medir la fatiga aguda después de una sesión de entrenamiento, no obstante, es necesaria más investigación en este ámbito en determinados deportes.

Referencias

Allen, D. G., Lamb, G. D., & Westerblad, H. (2008). Skeletal Muscle Fatigue: Cellular Mechanisms. *Physiological Reviews*, 88(1), 287-332. doi:10.1152/physrev.00015.2007

Allen, D., Lannergren, J., & Westerblad, H. (1995). Muscle cell function during prolonged activity: Cellular mechanisms of fatigue. *Experimental Physiology*, 80(4), 497-527. doi:10.1113/expphysiol.1995.sp003864

Álvarez, J., Coutts, A., & Andrín, G. (2007). Monitorización del entrenamiento en deportes de equipo. *Lecturas: Educ Fís Dep*, 11(106), 1-8.

Arcos, A. L., Yanci, J., Mendiguchia, J., & Gorostiaga, E. M. (2014). Rating of Muscular and Respiratory Perceived Exertion in Professional Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(11), 3280-3288. doi:10.1519/jsc.0000000000000540.

Balsalobre-Fernández, C., Glaister, M., & Lockey, R. A. (2015). The validity and reliability of an iPhone app for measuring

vertical jump performance. *Journal of sports sciences*, 33(15), 1574-1579.

Balsalobre-Fernández, C., Tejero-González, C. M., & Campo-Vecino, J. D. (2014). Hormonal and Neuromuscular Responses to High-Level Middle- and Long-Distance Competition. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(5), 839-844. doi:10.1123/ijsp.2013-0539.

Balsalobre-Fernández, C., Tejero-González, C. M., & Campo-Vecino, J. D. (2014). Relationships between Training Load, Salivary Cortisol Responses and Performance during Season Training in Middle and Long Distance Runners. *PLoS ONE*, 9(8): e106066. doi:10.1371/journal.pone.0106066

Cimadoro, G. (2018). Acute neuromuscular, cognitive and physiological responses to a Japanese kickboxing competition in semi-professional fighters. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 58(12):1720-1727. doi:10.23736/s0022-4707.17.07859-8

De Freitas Cruz, I., Pereira, L. A., Kopal, R., Kitamura, K., Cedra, C., Loturco, I., & Abad, C. C. C. (2018). Perceived training load and jumping responses following nine weeks of a competitive period in young female basketball players. *PeerJ*, 6. doi:10.7717/peerj.5225

Dobbin, N., Lamb, K. L., & Twist, C. (2017). Selected Physiological, Perceptual, and Physical Performance Changes During Two Bouts of Prolonged High-Intensity Intermittent Running Separated by 72 Hours. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(12):3474-3481. doi: 10.1519/jsc.0000000000001767

Enoka, R. M., & Stuart, D. G. (1992). Neurobiology of muscle fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 72(5), 1631-1648. doi:10.1152/jappl.1992.72.5.1631

Gabbett, T. J., & Jenkins, D. G. (2011). Relationship between training load and injury in professional rugby league players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14(3), 204-209. doi:10.1016/j.jsams.2010.12.002.

Gathercole, R. J., Sporer, B. C., Stellingwerff, T., & Sleivert, G. G. (2015). Comparison of the capacity of different jump and sprint field tests to detect neuromuscular fatigue. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(9), 2522-2531. doi:10.1519/jsc.0000000000000912

Gathercole, R. J., Stellingwerff, T., & Sporer, B. C. (2015). Effect of Acute Fatigue and Training Adaptation on Countermovement Jump Performance in Elite Snowboard Cross Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(1), 37-46. doi:10.1519/jsc.0000000000000622

González Badillo, J. J., Sánchez Medina, L., Pareja Blanco, F., & Rodríguez Rosell, D. (2017). La velocidad de ejecución como referencia para la programación, control y evaluación del entrenamiento de fuerza. *Ergotech Consulting, S.L.*

Gorostiaga, E. M., Asiáin, X., Izquierdo, M., Postigo, A., Agudo, R., Alonso, J. M., & Ibáñez, J. (2010). Vertical Jump Performance and Blood Ammonia and Lactate Levels During Typical Training Sessions In Elite 400-m Runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(4), 1138-1149. doi:10.1519/jsc.0b013e3181cf769f.

Jimenez-Reyes, P., Pareja-Blanco, F., Cuadrado-Peñafiel, V., Morcillo, J., Párraga, J., & González-Badillo, J. (2016).

- Mechanical, Metabolic and Perceptual Response during Sprint Training. *International Journal of Sports Medicine*, 37(10), 807-812. doi:10.1055/s-0042-107251.
- Kennedy, R. A., & Drake, D. (2018). Improving the Signal-To-Noise Ratio When Monitoring Countermovement Jump Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1. doi:10.1519/jsc.0000000000002615
- Kuipers, H., & Keizer, H. (1988). Overtraining in Elite Athletes. *Sports Medicine*, 6(2), 79-92. doi:10.2165/00007256-198806020-00003
- Legg, J., Pyne, D., Semple, S., & Ball, N. (2017). Variability of Jump Kinetics Related to Training Load in Elite Female Basketball. *Sports*, 5(4), 85. doi:10.3390/sports5040085
- Maher, C. G., Sherrington, C., Herbert, R. D., Moseley, A. M., & Elkins, M. (2003). Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Physical therapy*, 83(8), 713-721.
- Martínez-Rodríguez, A., Mira-Alcaraz, J., Cuestas-Calero, B., Pérez-Turpín, J., & Alcaraz, P. (2017). La Pliometría en el Voleibol Femenino. Revisión Sistemática (Plyometric Training in Female Volleyball Players. Systematic Review). *Retos*, 0(32), 208-213. Recuperado de <https://recyt.fecyt.es/index.php/retos/article/view/56053>
- McMaster, D. T., Gill, N., Cronin, J., & Mcguigan, M. (2014). A Brief Review of Strength and Ballistic Assessment Methodologies in Sport. *Sports Medicine*, 44(5), 603-623. doi:10.1007/s40279-014-0145-2
- Meylan, C., Cronin, J., & Nosaka, K. (2008). Isoinertial Assessment of Eccentric Muscular Strength. *Strength and Conditioning Journal*, 30(2), 56-64. doi:10.1519/ssc.0b013e31816a7037
- Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman D. G, The PRISMA Group (2009) Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Med* 6(7): e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>.
- Mohr, M., & Krstrup, P. (2013). Heat Stress Impairs Repeated Jump Ability After Competitive Elite Soccer Games. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(3), 683-689. doi:10.1519/jsc.0b013e31825c3266.
- Murphy, A. J., & Wilson, G. J. (1997). The ability of tests of muscular function to reflect training-induced changes in performance. *Journal of sports sciences*, 15(2), 191-200. doi: 10.1080/026404197367461
- Nakamura F. Y., Pereira L. A., Abad C. C., Franchini E, Loturco I. (2016). Cardiac Autonomic and Neuromuscular Responses During a Karate Training Camp Before the 2015 Pan American Games: A case Study with the Brazilian National Team. doi: 10.1123/ijssp.2015-0461
- Nakamura F. Y., Pereira L. A., Abad C. C., Franchini E, Loturco I. (2016). Cardiac Autonomic and Neuromuscular Responses During a Karate Training Camp Before the 2015 Pan American Games: A Case Study With the Brazilian National Team. doi: 10.1123/ijssp.2015-0461.
- Ouergui, I., Davis, P., Houcine, N., Marzouki, H., Zaouali, M., Franchini, E., . . . Bouhleb, E. (2016). Hormonal, Physiological, and Physical Performance during Simulated Kickboxing Combat: Differences between Winners and Losers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(4), 425-431. doi:10.1123/ijssp.2015-0052
- Peacock, C., Mena, M., Sanders, G., Silver, T., Kalman, D., & Antonio, J. (2018). Sleep Data, Physical Performance, and Injuries in Preparation for Professional Mixed Martial Arts. *Sports*, 7(1), 1. doi:10.3390/sports7010001.
- Póvoas, S. C., Ascensão, A. A., Magalhães, J., Seabra, A. F., Krstrup, P., Soares, J. M., & Rebelo, A. N. (2014). Analysis of Fatigue Development During Elite Male Handball Matches. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(9), 2640-2648. doi:10.1519/jsc.0000000000000424.
- Pueo, B., Jiménez-Olmedo, J. M., Lipińska, P., Bućeko, K., & Penichet-Tomas, A. (2018). Concurrent validity and reliability of proprietary and open-source jump mat systems for the assessment of vertical jumps in sport sciences. *Acta of bioengineering and biomechanics*, 20(3), 51-57. doi: 10.5277/abb-01132-2018-02.
- Raeder, C., Wiewelhove, T., Simola, R. Á, Kellmann, M., Meyer, T., Pfeiffer, M., & Ferrauti, A. (2016). Assessment of Fatigue and Recovery in Male and Female Athletes After 6 Days of Intensified Strength Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(12), 3412-3427. doi:10.1519/jsc.0000000000001427.
- Reilly, T., Morris, T., & Whyte, G (2009). The specificity of training prescription and physiological assessment: A review. *Journal of Sports Sciences*, 27(6), 575-589. doi:10.1080/02640410902729741.
- Romero-Franco, N., & Jiménez-Reyes, P. (2016). Effects of Warm-Up and Fatigue on Knee Joint Position Sense and Jump Performance. *Journal of Motor Behavior*, 49(2), 117-122. doi:10.1080/00222895.2016.1152222.
- Sánchez-Sixto, A., López-Álvarez, J., & Floría, P. (2018). Efecto de modificar la profundidad y velocidad del contramovimiento durante el salto vertical (Effects of countermovement depth and velocity modifications during the vertical jump). *Retos*, 0(34), 287-290. Recuperado de <https://recyt.fecyt.es/index.php/retos/article/view/64854>.
- Soligard, T., Schweltnus, M., & Alonso, J. (2016). Infographic. International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury: How much is too much? *British Journal of Sports Medicine*, 50(17):1042-1042. doi:10.1136/bjsports-2016-096583.
- Twist, C., & Highton, J. (2013). Monitoring Fatigue and Recovery in Rugby League Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(5), 467-474. doi:10.1123/ijssp.8.5.467.
- Yanci, J., Castillo, D., Iturricastillo, A., Ayarra, R., & Nakamura, F. Y. (2017). Effects of Two Different Volume-Equated Weekly Distributed Short-Term Plyometric Training Programs on Futsal Players' Physical Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(7), 1787-1794. doi:10.1519/jsc.0000000000001644